

# **DISEÑO DE UN SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN PARA MEDIR LA HUMEDAD DEL CAFÉ EN EL SECADO SOLAR**

Juan David Bedoya García

Trabajo de grado presentado como requisito  
parcial para optar al título de  
**Ingeniero Electricista**

Director

M. Sc. Andrés Felipe Calvo Salcedo

Co-director

Ingeniero Arley Bejarano

Pereira 25 de febrero de 2018  
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
Programa Ingeniería Eléctrica



## Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

Ingeniero Andres Felipe Calvo Director

---

Ingeniero Arley Bejarano

---

Jurado

Pereira, 27 de marzo de 2019

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN PARA MEDIR LA HUMEDAD  
DEL CAFÉ EN EL SECADO SOLAR**

Juan David Bedoya García

Pereira, 25 de febrero de 2019  
Programa de Ingeniería Eléctrica  
Universidad Tecnológica de Pereira  
Carrera 27 No 10-02 Barrio Álamos - Risaralda - Colombia  
TEL: (+57) (6) 3137122  
www.utp.edu.co  
Versión web disponible en: <http://recursosbiblioteca.utp.edu.co/tesis/index.html>

# Dedicatoria

Ese trabajo está dedicado a mis padres Rosalba y Juan Carlos ya que ellos en el transcurso del tiempo me han brindado todo su apoyo, ayudándome a tomar decisiones y haciendo de este proceso algo más llevadero, ellos han sido el soporte de mis principios con todos los valores que me enseñaron. Este no es que un escalón en mi vida, pero muy significativo, que sin ellos no hubiera podido alcanzar.

# Agradecimientos

Quiero agradecer fuertemente todo el apoyo que me ha brindado mi familia en todo este proceso, pues muchos de ellos han estado ahí en los momentos más difíciles, agradezco sus consejos y su apoyo incondicional.

Al ingeniero Arley Bejarano agradezco por su ayuda y paciencia en la elaboración de este documento, muy buena disposición y apoyo de su parte; también agradezco a la empresa Metromedics por la colaboración en la fase de calibración de los sensores que fue de vital importancia para esta investigación.

# Resumen

La relevancia del sector cafetero en Colombia podrá ser directamente relacionada a los indicadores que resaltan la importancia social y económica del país, empleando cerca de 785 mil colombianos en el sector cafetero lo que correspondería al 26% del total del empleo agrícola del territorio. La caficultura colombiana es el resultado de una larga tradición que se ha transmitido y mantenido viva de generación en generación, reflejado en la calidad de su producto desarrollado; y que equivale a unas condiciones óptimas geográficas y climáticas privilegiadas, la dedicación de los productores en cada etapa de producción, estrictos controles que garantizan el origen y la calidad del grano que permite la sostenibilidad económica, social y ambiental de la sociedad cafetera.

La calidad del café depende principalmente de los factores y procesos que varían según la especie, la sanidad, los frutos y granos del café; no obstante, también es influenciado por los controles y cuidados durante el cultivo, secado, almacenamiento, comercialización y preparación.

La etapa de secado de los granos de café, sea mecánico o solar es un proceso determinante dentro de la cadena de valor, debido a su alta influencia de la calidad de los productos resultantes de los granos, técnicamente las practicas inadecuadas pueden modificar los estándares de calidad, como el contenido de humedad exigidos por la Federación Nacional de Cafeteros. [10]

Medir y controlar la humedad en la producción es un factor decisivo para asegurar una calidad óptima del producto, mejorar la eficiencia operativa y tener un mantenimiento de las propiedades del grano para la durabilidad del producto a comercializar; [11] sin embargo, a pesar de la investigación científica y desarrollos tecnológicos en la caficultura, los sistemas actuales para determinar la humedad requieren un tiempo y un recurso económico elevado; necesitándose así una alternativa donde la medición y control de la humedad en la producción de café debe realizarse en tiempo real, que proporcione los valores de humedad precisos y de forma continua, mediante un dispositivo con sensores capacitivos que percibe la humedad del ambiente; El dispositivo a construir estará calibrado y basado en el método Gravimet expuesto por Cenicafe en el año 2009, el cual mide la humedad del café de manera indirecta por medio de la masa.

El procedimiento consiste en aplicar el método Gravimet y al mismo tiempo tomar lectura de la humedad y su masa, con los cuales se pueda aplicar una calibración óptima y se programará alguna señal de alarma (lumínica o sonora) que indique que el café tiene la humedad apropiada y está listo para su próximo proceso.

El procedimiento de investigación se logra gracias un prototipo, diseñado y construido estrictamente para hacer las pruebas necesarias durante proceso de investigación. Este cuenta con una unidad inalámbrica bidireccional que emite la lectura de los sensores cada cierto tiempo sin tener conexión física con el dispositivo de almacenamiento de datos, también utiliza dos sensores digitales termohigrómetro utilizados para tomar lectura de humedad y temperatura del café y del ambiente en tiempo real, además de una tarjeta integrada micro controlada que codifica la lectura de manera serial

que hace puente entre los sensores y la unidad de comunicación inalámbrica.

El microcontrolador cuenta con un código en el lenguaje C++ diseñado para enviar por medio de la unidad inalámbrica una serie de datos codificados que contienen humedad y temperatura tanto del café como del ambiente circundante alrededor de sí. Este código permite controlar y leer la adquisición de los sensores y se programó para tener una frecuente recopilación de datos, generando una base de pruebas extensa para de esta manera tener una raíz amplia al análisis soportado y conclusiones contundentes.

Encontrando después de realizar el estudio, conclusiones que se enfocan directamente a los posibles fallos o contraindicaciones no mencionadas en investigaciones relacionadas con el método Gravimet.

# Índice de figuras

Figura 1. Diagrama de flujo de las funciones del microcontrolador .....	8
Figura 2. Muestra de café durante la toma de datos.....	10
Figura 3. Toma de datos de humedad con beneficiadero de secado .....	11
Figura 4. Toma de datos de humedad sin beneficiadero de secado.....	11
Figura 5. elda o beneficiadero .....	12
Figura 6. Secuencia de lectura de humedad en el café.....	13
Figura 7. Observación de ganancia de humedad. ....	14
Figura 8. Comparación entre humedades y temperaturas .....	15
Figura 9. Relación entre humedad y temperatura del café.....	16
Figura 10. Tendencia de medidas de masa en gramos .....	18
Figura 11. Tendencia de medidas de masa en porcentaje .....	18



# Índice general

Resumen.....	V
Índice de figuras.....	VII
Índice general.....	VIII
1. Introducción .....	1
1.1. Planteamiento del problema .....	2
1.2. Justificación.....	3
1.3. Objetivos .....	4
1.3.1. General .....	4
1.3.2. Específicos .....	4
1.4. Estado del arte .....	4
2. Materiales y métodos.....	6
2.1. Procedimiento de construcción del prototipo y especificaciones técnicas .....	6
2.1.1. XBEE .....	7
2.1.2. Arduino.....	7
2.1.3. Sensores de Humedad y Temperatura.....	7
2.1.4. Configuración del arduino .....	7
2.2. Gravimet.....	9
3. Procedimiento de investigación, exposición de datos y análisis de gráficas .....	10
3.1. Análisis del comportamiento de la humedad en el café durante el proceso de secado .....	12
3.1.1. Análisis de datos de temperatura .....	14
3.2. Análisis del comportamiento de la masa durante el proceso de secado .....	17
4. Conclusiones .....	20
Bibliografía .....	21
Anexos .....	23

# Capítulo 1

## 1. Introducción

En Colombia, la industria cafetera alberga 563.000 familias campesinas que viven del café [1], esto a pesar de que a través de los años ha venido disminuyendo esta cultura, por causa de un inminente incremento en los costos para mantener los cultivos de dicho grano, este incremento es generado por las fumigas y abonos adicionales para combatir las nuevas plagas y enfermedades que se pueden apropiarse del café. Además, ahora la industria cafetera colombiana encontró una nueva dificultad, que viene ligada a la calidad del café.

Colombia es el tercer país que produce más café de exportación en el mundo, pero a pesar de no ser el primero en volumen de exportación, [6] su fama de mayor calidad es muy buena, pero está siendo opacada por la competencia de Brasil y Vietnam que están haciendo un esfuerzo por obtener un café de calidad, esto ha llamado la atención de entidades competentes como la federación nacional de cafeteros y cenicafé, invirtiendo en estudios y propuestas alternativas para solucionar el problema. La federación nacional de cafeteros junto al centro nacional de investigaciones de café (cenicafé) están implementando un método para aumentar la calidad del grano y ayudar a su comercialización. La humedad del café pergamino es un factor determinante para el comercio de este grano de exportación en Colombia, que tiene gran importancia en la conservación de sus características físicas, sensoriales e inocuas. Para esto se ha definido el rango de humedad entre el 10% y el 12%, [4] como un intervalo en el cual el producto conserva sus características para la comercialización.

La dificultad nace en la necesidad de medir esta variable que se ha intentado deducir por métodos subjetivos, observando y mordiendo la almendra para medir el color y la dureza del producto durante el secado. Sin embargo, en muestras obtenidas en diferentes regiones del país con la aplicación de estos métodos, frecuentemente, se obtiene café fuera del rango de comercialización, con efectos adversos en la calidad.

Finalmente, Cenicafé implementa un método llamado Gravimet que se basa en la conservación de la materia seca durante el proceso de secado, es decir, se asume que se retira fundamentalmente agua. Teniendo en cuenta esto, el método consiste en pesar el café frecuentemente con un volumen constante. Durante el secado, el café empieza a perder masa, siendo más específicos masa de agua, en el cual se determina un rango de peso y este equivale al límite de humedad permisible, así cuando tenga un rango de peso específico será el punto de humedad óptimo para que el grano conserve su sabor y calidad.

Este método funciona el 97,7% de los casos, aunque tiene ciertas dificultades tales como:

- Manejo de la balanza digital.
- Manejo de la altura de la capa de café en el secador.
- Se requiere de mayor cuidado y dedicación de tiempo.
- Pérdidas de granos pequeños a través de las perforaciones de la canastilla. [2]

En general, no se cuenta con un proceso autónomo de la medición del parámetro. En este proyecto se implementará un método alternativo midiendo la humedad de manera directa, en tiempo corto y de manera autónoma.

## 1.1. Planteamiento del problema

El secado del café es el proceso por el cual se elimina gran parte del agua de los granos del café para disminuir la posible proliferación de hongos y bacterias; aumentando su vida útil y permitiendo su almacenamiento por largos periodos de tiempo.

El grano de café tiene un contenido de humedad aproximadamente del 53% después del lavado, el cual se logra disminuir gracias al secado mecánico o solar. El rango establecido de humedad para evitar el resecamiento es de 10 a 12%, así el producto no sufrirá pérdida de calidad o peso que representan un déficit al productor. [12]

En Colombia se emplean métodos subjetivos para determinar el porcentaje de humedad, mediante la observación del color por la trilla del café y la dureza de las almendras mediante la mordedura al grano; estas mediciones conducen a apariciones equivocadas que generan aumento en los costos y disminuciones de la calidad del producto, un alto contenido de humedad favorece las reacciones de oxidación de los lípidos, que son la mayor forma de degradación química del café modificando el sabor característico del producto. [13]

Una alternativa a esta problemática implantado por Cenicafe es la tecnificación por medio de una medición estándar de humedad del grano durante el proceso de secado, se busca un método económico y fácil de utilizar llamado Gravimet basado en medir la masa de una muestra durante el secado que cuando llegue a la medida especificada, se tendrá un café con la humedad exacta y estará listo para su próximo proceso; no obstante el método presenta dificultades debido al aumento del margen de error por la pérdida de granos en el proceso sobre la masa inicial de la muestra, el manejo de la balanza digital y la dificultad a la hora de intervenir con caficultores por la implementación de un método nuevo, lo que ocasionaría desacuerdos por los conocimientos tradicionales que se han tomado durante siglos en la cultura cafetera.

A raíz de esto se estima diseñar un dispositivo el cual mida la humedad del grano de manera directa, que estará calibrado de acuerdo al método Gravimet que con una correcta utilización es un proceso muy eficiente, y así satisfacer a la demanda con una solución fácil de usar y económica, con el pretexto de asequibilidad a cualquier caficultor que desee implementar este proceso dentro de sus

granjas, o incentive el desarrollo del gremio cafetero ya que la demanda de un café de mayor calidad en el exterior está incrementando con el tiempo, y se convierte en una carrera contra los países principales exportadores de café en el mundo que están trabajando para que su producto sea de mayor calidad, sabor y aroma que el colombiano.

## 1.2. Justificación

Una de las actividades económicas más representativas del país es respaldado por la exportación; donde uno de sus productos estrella vendido al mercado de otros países es el café; Colombia se ha destacado por ser uno de los países con mayor calidad en el producto cafetero del mundo, según la Organización Mundial del Café (OIC) el país representa el tercer mayor exportador del café mundialmente, con un promedio de 9,59 millones de sacos desde el año 2000, donde los principales destinos de exportación cafetera son Estados Unidos, Japón y Bélgica. [17]

El país presenta dos modalidades de exportación de café, pequeñas y grandes cantidades; las cuales conllevan a un proceso de exportación diferente; Colombia entre enero y febrero del año 2019 los despachos de café a los mercados internacionales sumaron 2,42 millones de sacos de 60 kilos cada uno, aumentando así 12,6% con respecto al año 2018 que se registraron 2,15 millones de sacos según la Federación Nacional de Cafeteros. [18]

A pesar de este aumento representativo en los envíos del grano al exterior, la producción y cosecha no ha mostrado una dinámica mayor, con una tasa de 2,5%. [18]

El café colombiano es reconocido internacionalmente por representar uno de los cafés más suaves del mundo lo que permite competir fuertemente en el mercado internacional, los factores que potencializan la mayor productividad del producto son las condiciones climáticas, precipitaciones, características del suelo, fertilidad y la gran variedad de pisos térmicos presentes en el territorio lo que genera un producto de mayor calidad y la disponibilidad de cosechas durante todo el año, permitiendo una mayor exportación del producto y cubriendo la demanda internacional. [19]

En búsqueda de una mayor calidad, Cenicafé expone que es necesario tomar medidas de humedad y estandarizar dicha variable física en el grano entre el 10 y 12%, requiriendo un método directo que permita registrar esta humedad en el café, lo que conlleva a diseñar un sistema de instrumentación para determinar este rango de humedad en el grano durante el secado solar.

Este trabajo está proyectado a brindar un método que permita mantener la calidad del café teniendo en cuenta el principio expuesto por Cenicafé con respecto al rango de humedad óptimo, todo esto se lograría concebir con un dispositivo practico, de poco tamaño, ligero y económico, que mida la cantidad apropiada de humedad en el grano con precisión durante el proceso de secado solar.

Haciendo de este proyecto una alternativa que permita un avance tecnológico para el control de humedad del café a nivel granja, originando nuevas metodologías tecnológicas que permitan direccionar a la caficultura moderna colombiana a un producto de mayor calidad.

## 1.3. Objetivos

### 1.3.1. General

Diseñar un sistema de instrumentación para medir la humedad del café en el secado solar.

### 1.3.2. Específicos

- Diseñar un circuito de acondicionamiento para sensores.
- Implementar un algoritmo en un sistema microcontrolado que permita tomar la muestra, medir y registrar la humedad, además de generar una alarma cuando el café esté en el punto ideal.
- Realizar un análisis estadístico comparando el sistema desarrollado con el método Gravimet.

## 1.4. Estado del arte

Hacia 1730 en Nueva Granada ingresaron las primeras semillas de café por el oriente del territorio colombiano donde se desarrollaron sus primeros cultivos; pero hasta 1835 se presentó la primera producción comercial y se exportaron 2560 sacos desde la aduana de Cúcuta, Potencializando así la propagación del cultivo del grano a mayores zonas del país; Ya a partir de 1850 el territorio central y occidental del país establecían el cultivo de café en varias hectáreas debido a su potencial económico. [14]

Sin embargo, el café no se consolidó como producto de exportación hasta la mitad del siglo XIX, donde los hacendados encontraron atractivas las oportunidades en el mercado internacional debido a la demanda consolidada por Estados Unidos. El café presentó una exportación muy frágil entre 1850 y 1857 que respondía a una búsqueda de rentabilidad derivada a los altos precios internacionales, es decir, al terminar la bonanza de precios, la producción entraba en fase de decadencia lo que no permitía una consolidación empresarial. [14]

Ya en 1875 se comenzó a ampliar el número de pequeños productores de café y ya a comienzos del siglo XX se había consolidado un modelo de exportación cafetera basado en la economía campesina, El cual hizo que el occidente colombiano tomara la delantera en el desarrollo de la caficultura en el país. [14]

Finalizando el siglo XVIII, en el contexto de la revolución industrial, se generaron los mayores avances en el procesamiento del café debido a la implementación de métodos mecánicos durante el tueste, la molienda, el secado y la preparación del producto [15]; que ahora en la actualidad la industria cafetera ha generado investigación acerca de cómo mantener la calidad, inocuidad y durabilidad del producto, estableciendo una humedad del grano entre el 10 y 12 % durante el proceso

de secado.

Esto ha desencadenado una serie de métodos para medir la humedad del café sin destruir la almendra tales como el método Gravimet, [2] sin embargo también se ha investigado acerca de cómo medir la humedad por medio de métodos indirectos, como el *cambio en el dieléctrico* de la almendra, Kandala y Nelson [7] diseñaron y evaluaron un dispositivo de placas planas paralelas, para determinar la humedad en pequeñas muestras de maní en grano, utilizando frecuencias de 1 y 5 MHz, y en cáscara, con frecuencias de 1 y 9 MHz. Los resultados obtenidos en más del 85% de las muestras fueron superiores a los obtenidos con el estándar de la estufa que consiste en un secado acelerado dejando el grano un tiempo establecido en el cual se determina la humedad al igual que el método Gravimet indirectamente por medio de la masa, en el rango de 5% al 22% de humedad. Entre otros métodos por medio de *ultrasonido* y *microondas* que al final no fueron viables por el motivo de que no había una investigación científica de estos métodos en el café específicamente [3].

Otros métodos utilizados para la determinación de la humedad son el *método de destilación*, donde el agua presente del grano es destilada de manera simultánea con un líquido inmiscible, por medio de la evaporación, y posterior a la condensación se mide el volumen final,[12]y por *radiación infrarroja* que genera un secado asistido para la remoción térmica del agua presente en los granos hasta obtener un producto seco por medio de radiación artificial involucrando el uso de radiación IR, como lámparas eléctricas. [12] A pesar de las diferentes metodologías para la medición de humedad nombradas anteriormente, los más utilizados por la sociedad caficultora colombiana son los métodos tradicionales que corresponde a métodos subjetivos que determinan el porcentaje de humedad, mediante la observación del color por la trilla del café y la dureza de las almendras mediante la mordedura del grano, lo que ocasiona mayores márgenes de error a la hora de registrar la humedad del grano.

# Capítulo 2

## 2. Materiales y métodos

Con el fin de diseñar un dispositivo electrónico que mida la humedad del café para determinar su medida optima de secado, que sea fácil de utilizar y de bajo costo, se lleva a cabo la implementación de un diseño practico el cual permita tener medidas de humedad tanto del café como del ambiente alrededor de la muestra en un rango de tiempo determinado, además de esto, se tomaron lecturas de temperatura que podrían ser útiles a la hora del análisis, y con esto tener un buen soporte numérico y grafico que permita deducir la mejor calibración del dispositivo a la hora de implementarlo.

Para el diseño de este prototipo se necesitaron los siguientes materiales:

- Arduino mega
- 2 sensores DHT
- 2 módulos XBEE
- Modulo conector de XBEE arduino
- Porta pilas

Los sensores fueron calibrados en compañía de la empresa Metromedics; calibración que se llevó a cabo utilizando las maquinas especializadas y los métodos descritos por las entidades competentes.

Para la calibración de la lectura de humedad de cada sensor se configuro un nivel de humedad, tomándose un tiempo de estabilización de aproximadamente una hora y treinta minutos, próximo a eso se toma lectura del sensor durante cuarenta minutos más y se observa la desviación con respecto a la referencia; este procedimiento se repite dos veces más en niveles de humedad diferentes.

La temperatura se calibra de la misma manera, sin embargo, los tiempos de estabilización son más cortos, puesto que la temperatura es una variable física más fácil de condicionar, lo que genera un menor tiempo de estabilización del dispositivo que permite calibrar las variables de interés.

### 2.1. Procedimiento de construcción del prototipo y especificaciones técnicas

Al disponer de los materiales descritos anteriormente se procede a configurar debidamente los módulos xbee parametrizando para el uso específico requerido como es el envío de datos desde el arduino tomados directamente por los sensores hasta una computadora, cada sensor cuenta con una medida de humedad y temperatura la cual se muestrea cada segundo, en este caso específico se configuró el arduino para que envíe datos cada 30 segundos ya que el proceso de secado es demasiado lento.

Las medidas de temperatura y humedad se configuraron desde el microcontrolador arduino para

recibir las en una computadora convencional con la siguiente estructura:

Humedad del café	Humedad del ambiente	Temperatura de café	Temperatura del ambiente
------------------	----------------------	---------------------	--------------------------

Esto se hizo de esta manera con la intención de facilitar el proceso a la hora de organizar los datos para su respectivo análisis.

### 2.1.1. XBEE

Un módulo xbee es una unidad integrada utilizada para la transferencia de datos y comunicación inalámbrica, cada módulo funciona como emisor, receptor o como ambos dependiendo la configuración, estos módulos utilizan un protocolo llamado IEEE 802.15.4 para crear redes punto a multipunto o redes punto a punto. funciona de forma serial y además de contar con un buen alcance fueron diseñados para aplicaciones que requieren alto tráfico de datos. [9]

La utilización de este dispositivo en este proyecto solo se utiliza en el prototipo para la adquisición de datos, debido a la facilidad a la hora de recolectar tan gran número de estos, que contienen el registro de humedad y temperatura que se están tomando en tiempo real durante el secado.

### 2.1.2. Arduino

Un arduino es una unidad integrada de un microcontrolador con sus respectivas entradas y salidas acondicionadas para su uso inmediato, cuenta con un software de código abierto y fácil de utilizar, en esta ocasión se utiliza un módulo para convertir la lectura de los sensores DHT en un mensaje serial que a continuación será transmitido por el módulo xbee al receptor que se encuentra en una computadora convencional. [20]

### 2.1.3. Sensores de Humedad y Temperatura

DHT es un sensor de temperatura y humedad digital, utiliza un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir la temperatura, tiene la capacidad de convertir los datos de lectura en una señal digital, estos dispositivos tienen la capacidad de muestrear dichas medidas cada segundo lo cual lo hace perfecto para esta aplicación ya que las muestras de humedad se deben tomar con intervalos de tiempo largos para evitar una saturación de datos.

### 2.1.4. Configuración del arduino

Arduino se desarrolla con un software y lleva consigo una interacción para el usuario bastante cómoda, la cual cuenta con un lenguaje de programación basado en C++ y tiene una numerosa cantidad de librerías que pueden ser de gran ayuda de acuerdo a la aplicación que se le vaya a dar al dispositivo. Para esta aplicación se citó la librería que controla el flujo de datos con el sensor DHT llamada *DHT.h* que decodifica las respectivas medidas enviadas por el sensor.

El código fuente utilizado para la elaboración del prototipo consiste hacer una toma de datos de forma secuencial y organizada, también se tiene en cuenta que la lectura de cada sensor sea correcta y de



esta manera garantizar que cada uno de los datos sea coherente, en caso de que el sensor este mal conectado o no este mostrando datos numéricos, envía un mensaje informando el error con el fin de que éste pueda ser corregido.

A continuación, en la figura 1, se muestra el diagrama de flujo que explica de manera secuencial las acciones del código utilizado en el prototipo para la recolección de datos:

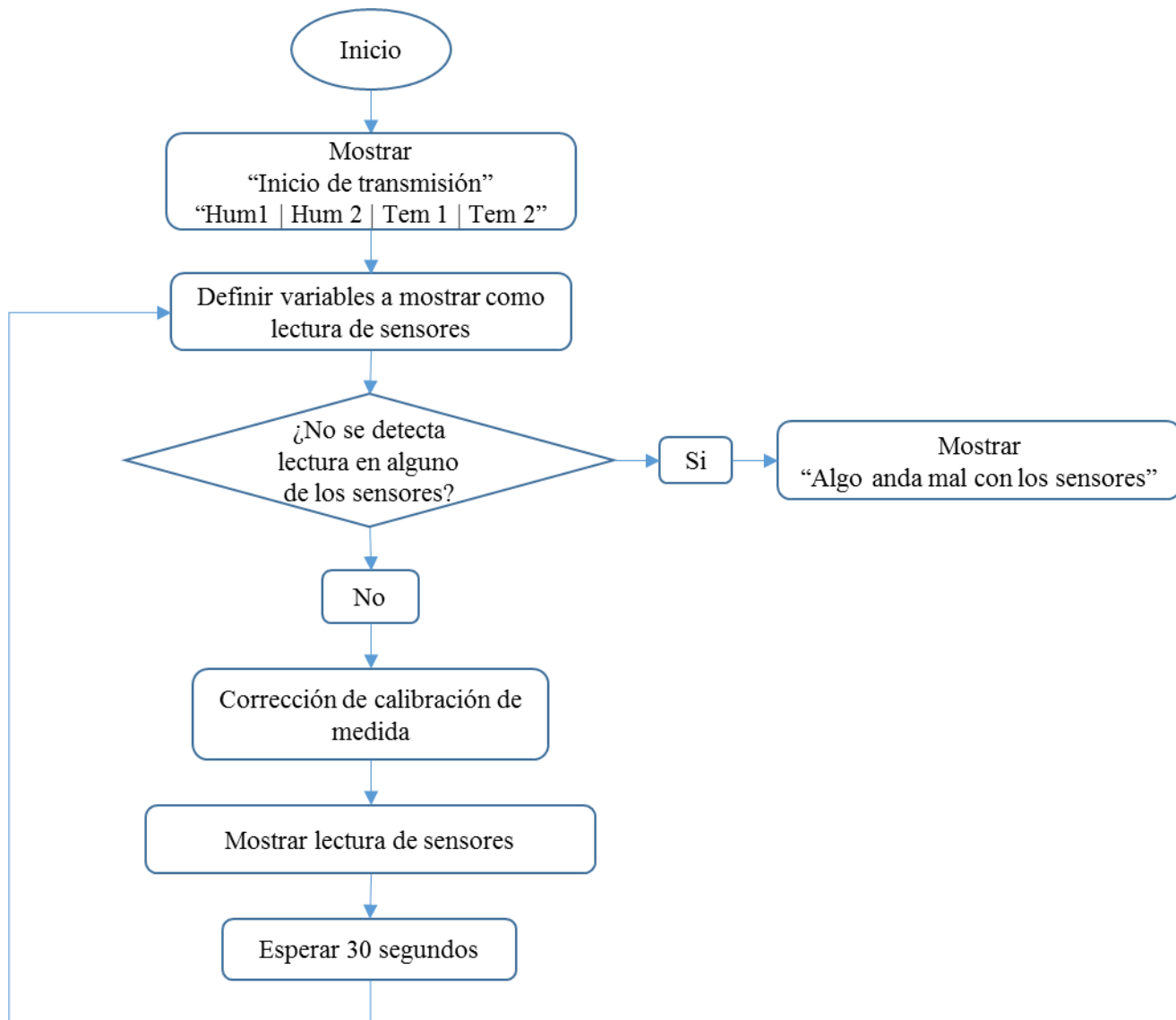


Figura 1. Diagrama de flujo de las funciones del microcontrolador

## 2.2. Gravimet

Gravimet es un método para medir la humedad del café expuesto por Cenicafé después de una investigación contundente tras enfrentar la problemática relacionada con los métodos tradicionales y subjetivos que incrementan el margen de error aumentando los costos de producción y disminuyendo la calidad del producto, mencionada anteriormente en el planteamiento del problema.

El método Gravimet se ejecuta tras una serie de pasos sencillos que llevan a una gran efectividad a la hora de buscar una medida de humedad específica. Este método según estudios y cifras de cenicafé es efectivo el 97.7% de las veces, esto evidencia una muy buena efectividad del método, por este motivo para este proyecto, se utilizará el método Gravimet para calibrar el dispositivo a realizar.

Para la aplicación del método, se sigue el procedimiento presentado a continuación.

- Emplear café sano, limpio, bien lavado y escurrido en un tanque durante al menos 1 hora.
- Distribuir el café en el secador de manera uniforme, procurando que el promedio de la altura de la capa sea similar a la altura de la muestra contenida en el recipiente
- Retirar la canastilla del secador para revolver el lote de café y revolver con los dedos la muestra contenida en el recipiente sobre una superficie libre de café, evitando la pérdida de granos.
- Iniciar la determinación del peso de la muestra preferiblemente después del tercer día. Cuando el peso del café en el recipiente haya perdido más del 57% de su valor inicial, estar pendiente porque en días soleados, al final de la tarde es posible que el café esté seco (10% al 12%). Se recomienda tomar una muestra del lote, trillarla y observar el color de las almendras para verificar que esté listo para retirarlo del secador. Cuando el peso de la muestra de café contenida en el recipiente está entre 52% y el 52.5% del peso inicial el café debe estar con humedad del 10% al 12%, y es el momento de retirarlo del secador.
- Una vez se retire el café del secador, empacar y guardar en el cuarto destinado en la finca para este propósito. Se puede conservar el recipiente con la muestra de café y dejarla en contacto con el café almacenado hasta el día de la venta del producto, de esta forma se podrá verificar posibles cambios en el contenido de humedad del grano. [2]

## Capítulo 3

### 3. Procedimiento de investigación, exposición de datos y análisis de gráficas

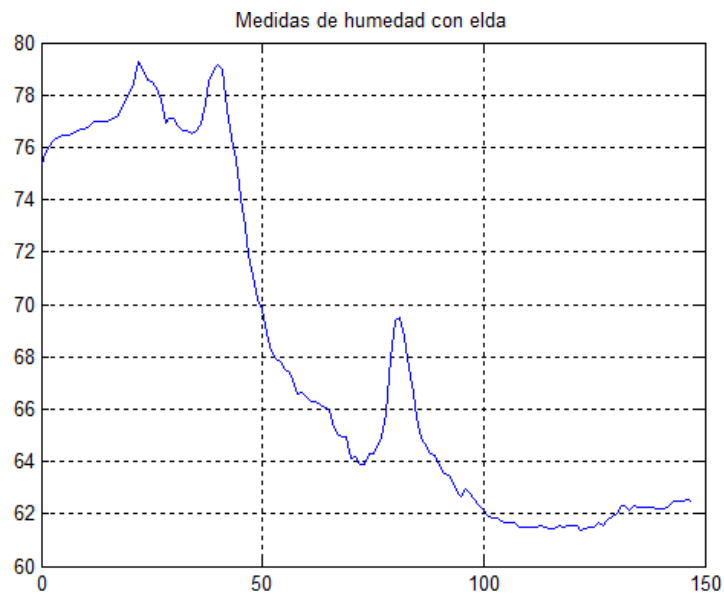
Ya que la implementación y calibración del dispositivo está basada en el método Gravimet debido a la efectividad de este, se idea un procedimiento para la toma de datos mientras se desarrolla el método Gravimet, tomando una muestra de café entre los 100g y los 300g en el estado seco de agua (justo después del lavado de los granos de café, debe filtrarse hasta quedar secos totalmente) con su humedad inicial, dicha muestra se pone a secar y se dispone de un sensor para medir la humedad y temperatura en los granos de café y el otro para medir la humedad y temperatura del ambiente justo alrededor de dicha muestra, se toma medida de la masa al iniciar el secado y al final del día.



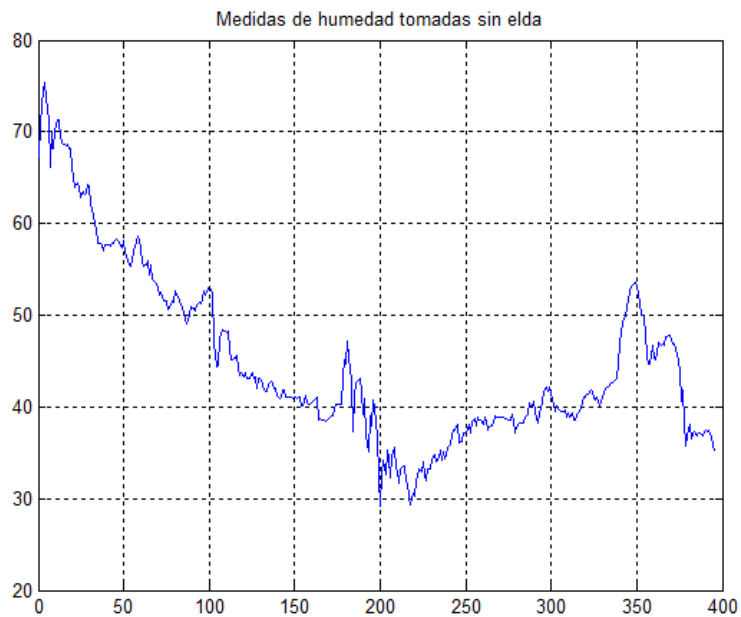
*Figura 2. Muestra de café durante la toma de datos*

Al iniciar el proceso de investigación durante la toma de datos, el procedimiento se realiza sin beneficiadero de secado, quedando así los granos expuestos a factores como la temperatura y presión del ambiente en un espacio determinado; conocido también como tiempo atmosférico, lo que ocasiona resultados dispersos y medidas inestables durante el registro de datos.

En la primera muestra no se llega a tener resultado final físico con los granos de café, ya que no secó lo suficiente antes de una temporada fuerte de lluvias y produjo en el café aun húmedo la presencia de una enfermedad llamada cardenilla; pero a pesar de no llegar al resultado final esta muestra fue de gran ayuda, puesto que a la hora de analizar los datos recolectados se evidenció la disparidad de estos, tomándose la decisión así de implementar un estilo de artefacto para simular los beneficiaderos de secado convencionales de las granjas caficultoras.



*Figura 3. Toma de datos de humedad con beneficiadero de secado*



*Figura 4. Toma de datos de humedad sin beneficiadero de secado*

En las figuras mostradas anteriormente se evidencia de modo grafico el efecto de trabajar el secado del café sin beneficiadero, lo que demuestra cambios bruscos de la humedad del café que responden así a la variabilidad de condiciones de temperatura, presión y humedad en el momento de registrar los datos.

Por este motivo se lleva a cabo la construcción de un beneficiadero de secado experimental a escala para ambientar los granos de café a un entorno más estable, de esta manera se pudo determinar un comportamiento más propio de la humedad en los granos de café.

A continuación, en la figura 5 se muestra el beneficiadero construido para la etapa de investigación.



*Figura 5. elda o beneficiadero*

### 3.1. Análisis del comportamiento de la humedad en el café durante el proceso de secado

De acuerdo a los resultados mostrados durante la investigación, se puede observar que de alguna manera el secado del café no es un proceso en el cual se pueda valer de un simple soleado bajo una beneficiadero; este es un proceso que, si queremos hacerlo bien, se deberían tener en cuenta otros factores que durante esta investigación se convierten en condiciones relevantes.

A continuación, se encontrará una secuencia de graficas generadas con la toma de lecturas de humedad en el café vs número de muestras en cuatro días diferentes.

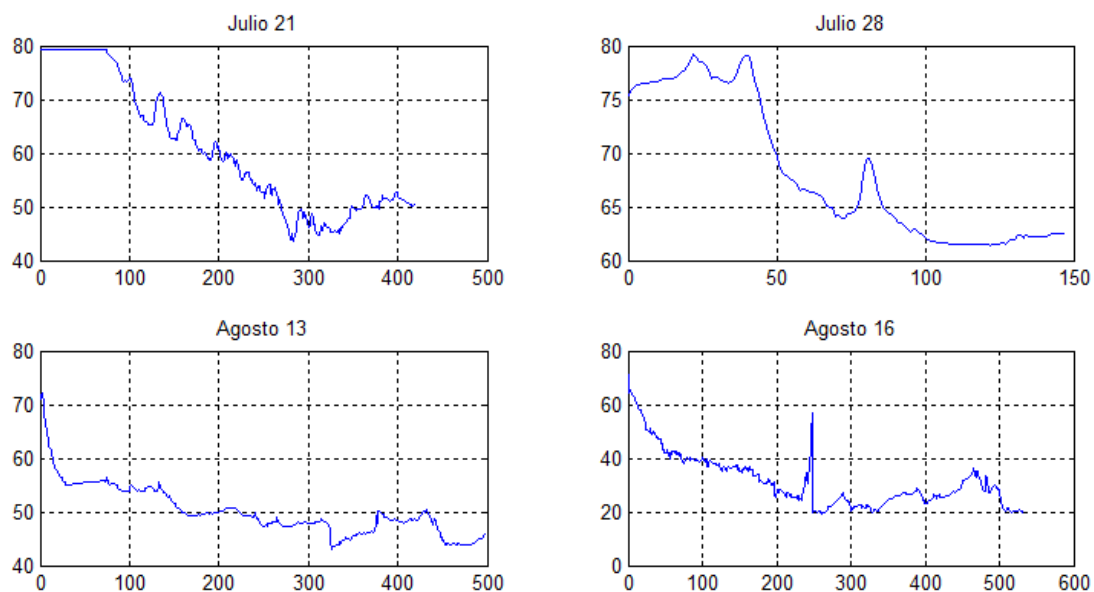


Figura 6. Secuencia de lectura de humedad en el café

Observando la gráfica del 21 de julio se evidencia una lectura constante en aproximadamente las primeras 80 muestras con un valor de 79,24 % de humedad, esto se produce debido a la intensidad solar ya que no es muy fuerte para hacer que pierda humedad y estando en el beneficiadero de secado mantiene sus propiedades para ese momento exacto, hay que tener en cuenta que el café entre más húmedo se resiste más a los cambios de humedad como si se tratara de un tipo de saturación; continuando con el análisis de la figura 4 en general se evidencia que la muestra va perdiendo un nivel característico de humedad día tras día, mostrándose una lectura alta a cada principio cada de toma de datos, pero que cae rápidamente a su nivel característico de humedad tras un lapso de tiempo que también depende de la intensidad solar. En conclusión a esto se puede determinar que la humedad del café no se puede medir de inmediato tras estar en un ambiente húmedo, que es debidamente producido por el relente nocturno al que se expone todo diariamente, ya que el grano adquiere una humedad superficial muy diferente a la propia; así mismo si se mantiene la muestra sin una continua exposición al sol la humedad característica tiende a subir con una velocidad que depende exclusivamente de que tan seco este el café como ya se había explicado anteriormente.

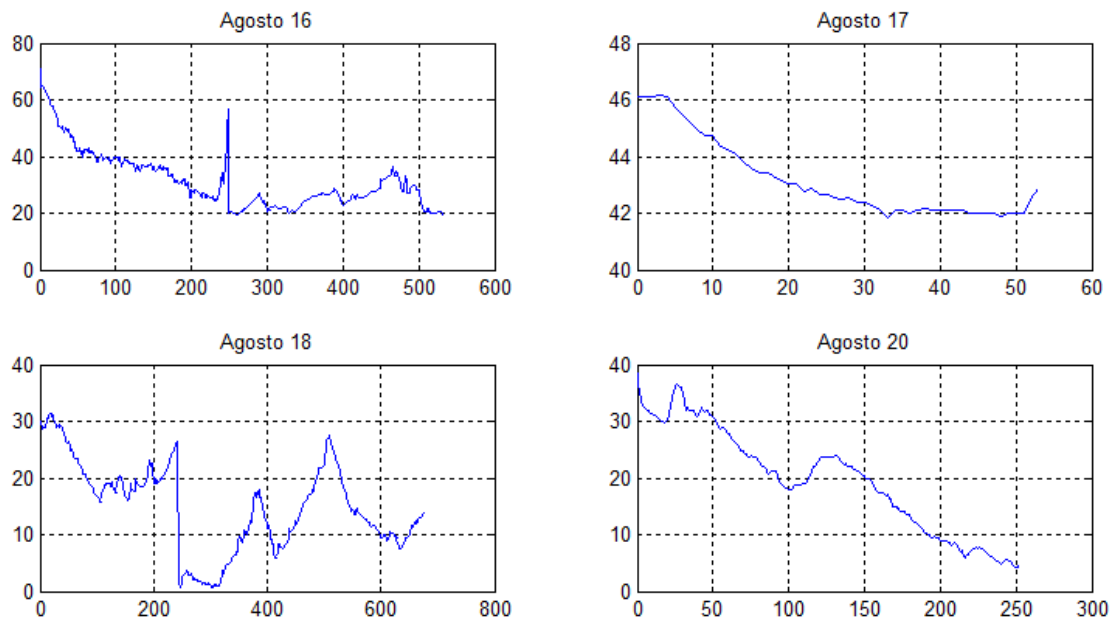


Figura 7. Observación de ganancia de humedad.

La figura 7 muestra una evidente estabilización de los datos de humedad después de las 200 muestras, teniendo en cuenta el tiempo de lectura de cada una, dicha estabilización se presenta aproximadamente después de estar expuesto a la radiación solar durante una hora y cuarenta minutos, después de esto comienza a tener la humedad propia comparable y con la masa en ese momento y lleva a determinar la relación entre masa y humedad.

### 3.1.1. Análisis de datos de temperatura

Desde el inicio del proyecto se han fijado como variables de interés la humedad y masa del café, como valor agregado teniendo en cuenta que los sensores cuentan con la posibilidad de medir la temperatura sin ningún requerimiento adicional, se le da importancia a la recolección de estos datos ya que podrían ser útiles a la hora de soportar y determinar alguna de las conclusiones de este proyecto.

Después de un análisis sobre los datos de temperatura se puede observar que, al comparar con datos de humedad, actúa con un comportamiento inverso al de la humedad, mostrando unas graficas de temperatura completamente similares pero alternas. A continuación, se puede observar de manera gráfica la comparación expuesta anteriormente.

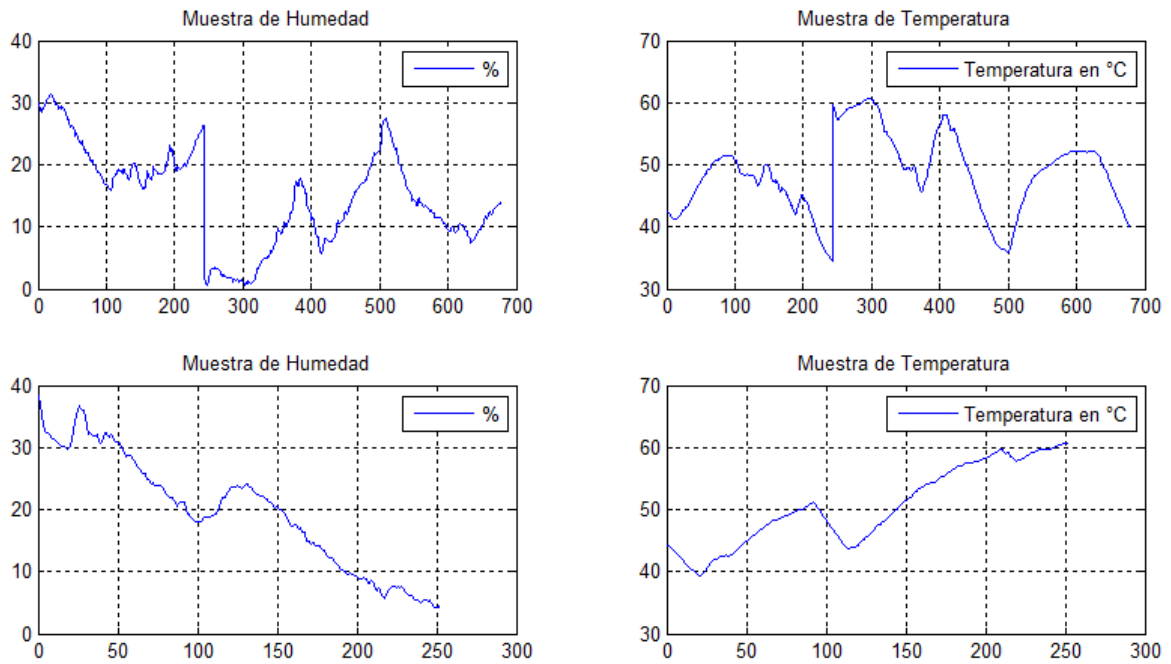


Figura 8. Comparación entre humedades y temperaturas

En la gráfica anterior se puede apreciar dos muestras de días aleatorios como comparación entre sus respectivas medidas de humedad y temperatura en el café; se muestra enfrentados dichos datos y se puede observar a simple vista su similitud de manera inversa. Otro elemento importante que se puede contemplar es que la medida de temperatura es más estable con respecto a la de humedad, mientras que la humedad varía o reacciona ante cualquier sombrero o cambio durante la exposición a la radiación solar, la temperatura se opone más al cambio brusco que se presenta en el ambiente contando con un comportamiento sólido.

A pesar de hallar ciertas similitudes entre las medidas de temperatura y humedad no se encontró ninguna relación profunda por la cual se deba concluir algún tipo de relevancia al estudio realizado; con el ánimo de dejar evidencia de lo descrito se graficaron los datos de humedad con respecto a la temperatura, en la figura 9 se puede observar cualquier relación o tendencia que lleve una variable sobre la otra, como se puede ver a continuación.



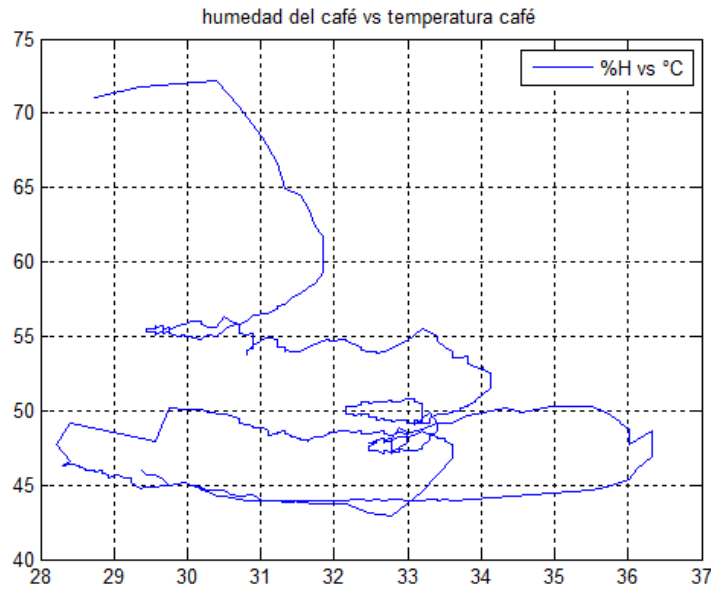


Figura 9. Relación entre humedad y temperatura del café

En la figura 9 se muestra la relación grafica entre la humedad vs temperatura del café y se evidencia una tendencia demasiado irregular, esto lleva a determinar que no existe una tendencia cuantitativa a la hora de determinar la humedad del grano por medio de la temperatura en el mismo.

Para esto se utiliza también correlación de coeficientes de Pearson que mide la fuerza y el sentido de una relación lineal entre dos variables cuantitativas, generando un valor real entre -1 y 1, valor que permite determinar por medio del signo la pendiente de la relación, es decir, es negativa si una variable aumenta en magnitud mientras su valor comparado disminuye, y positivo si ambas variables tienen un comportamiento similar donde una variable aumenta mientras el valor comparado se comporta de la misma manera; en cuanto a la magnitud indica el nivel de correlación que hay entre las variables, entre más cercano a uno, más relacionadas están las variables.

La correlación de coeficientes es un procedimiento matemático que se ejecuta de acuerdo a la siguiente ecuación: [21]

$$\rho(A, B) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left( \frac{A_i - \mu_A}{\sigma_A} \right) * \left( \frac{B_i - \mu_B}{\sigma_B} \right)$$

Después de la ejecución de dicha ecuación con los valores utilizados para realizar la figura 9 arroja el siguiente resultado:

$$\rho(\text{Temperatura}, \text{Humedad}) = -0,1889$$

Lo cual indica con el signo negativo la evidente relación mostrada y mencionada en la figura 8, donde la humedad aumenta si la temperatura disminuye o viceversa y la magnitud indica cuantitativamente la poca relación que existe entre una variable y otra.

## 3.2. Análisis del comportamiento de la masa durante el proceso de secado

Teniendo en cuenta que el estudio está basado en el método Gravimet, se estuvieron recolectando las respectivas medidas de masa que se tomaron al inicio de la adquisición de datos de humedad y al final de la misma, como el estudio gravimétrico del método Gravimet ya se llevó a cabo por cenicafé, esta investigación se desarrolla sin tomar la misma cantidad de datos tanto de masa como de humedad, ya que por el método Gravimet se conoce el nivel de masa óptimo que indirectamente refleja la humedad ideal.

De igual manera los datos de masa son de suma importancia debido a que los granos de café tendrán una humedad óptima descrita por Cenicafé entre el 10 y el 12% cuando la muestra pierda el 48% de su masa.

Tal cual como se evidenció el cambio en la humedad debido al tiempo atmosférico; también se presentan variaciones en la masa, aunque no son tan bruscos debido a que la pérdida o aumento de masa es un proceso mucho más lento, a pesar de esto son cambios importantes y determinantes a la hora de concluir en este proceso. Se puede observar que hay un aumento significativo de masa en las muestras si cuenta con factores como: la no exposición a la radiación solar por largo tiempo, principalmente en las noches, y si cuenta con un porcentaje bajo de humedad en comparación a la inicial. Este problema con respecto a la pérdida o aumento de masa aparentemente varía en función de la humedad actual del café donde la masa tiende a bajar si la humedad del café es alta con respecto a su valor inicial y a subir si los valores de la misma son considerablemente bajos.

Observando los datos de masa en la figura 10 es evidente que la misma tiende a bajar cuando la humedad del café es alta, incluso sin estar expuesto a la radiación solar, de igual manera, se puede encontrar que la masa disminuye constantemente en el tiempo hasta llegar a un nivel crítico, en el cual se encuentra un valor numérico característico donde la masa de la muestra tiene un comportamiento oscilatorio o incluso podría llamarse asintótico en la que la masa que desciende durante la exposición a radiación solar y aumenta cuando hay sombríos y días húmedos o en las noches.

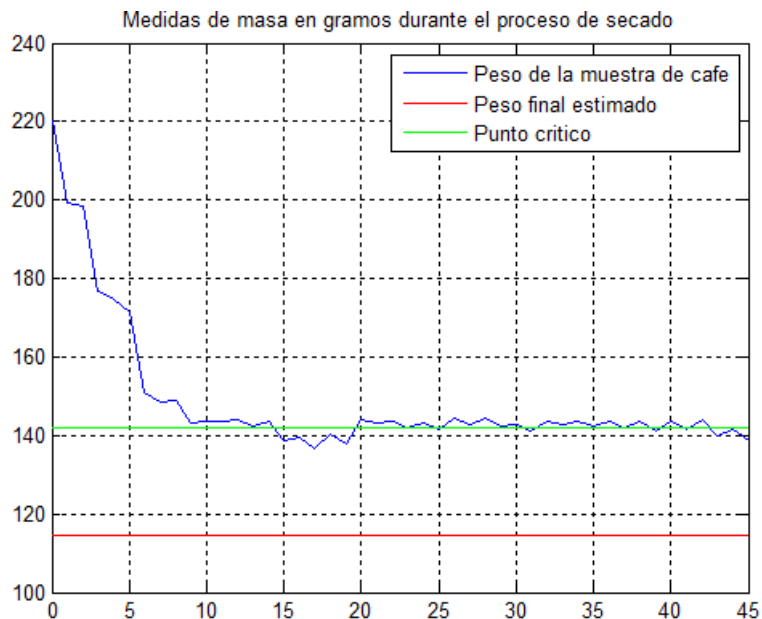


Figura 10. Tendencia de medidas de masa en gramos

En el dibujo se muestra de color azul la tendencia descendente de la masa mientras la humedad del grano es alta, y se estima por medio de un cálculo estadístico un valor de masa de 142,02 gramos que se muestra de color verde en la gráfica anterior, el cual nos describe el valor en el cual la masa comienza a oscilar sin tener más cambios significativos; esto no muestra un problema grave a la hora de llegar al punto óptimo de humedad dadas las circunstancias puesto que el valor estimado de masa es de 114,452 gramos donde se obtendría el café en su umbral óptimo de humedad. Con estos datos encontramos que la pérdida de masa se “estabiliza” con una diferencia de aproximadamente 27,56 gramos antes de llegar al valor de masa correcto.

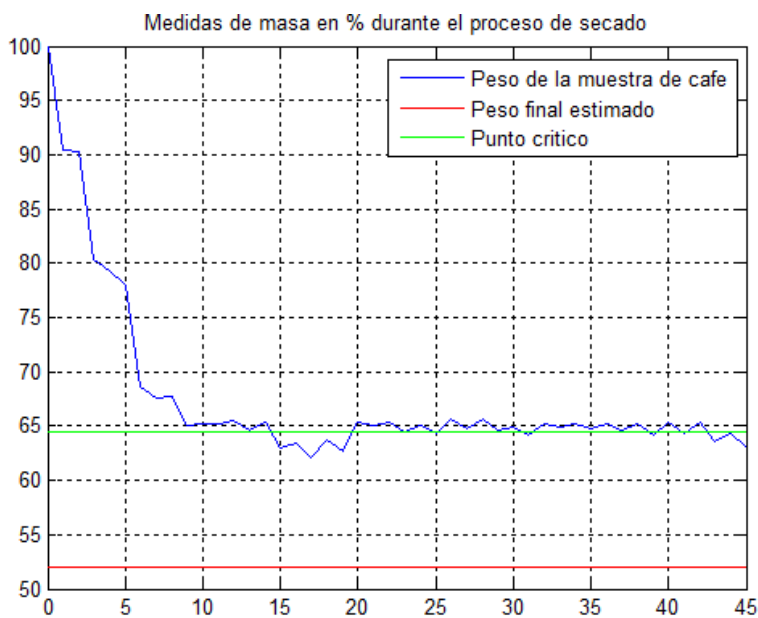


Figura 11. Tendencia de medidas de masa en porcentaje

Y bien ahora en la figura 11 se muestra tal como en la figura 10, pero ahora descrito en valores de porcentaje; con este método es más perceptible el cambio en la masa que debe experimentar la muestra. Se presenta un descenso de masa de aproximadamente el 35% antes de tener el comportamiento oscilatorio haciendo falta una pérdida del 12% adicional para obtener la masa o más bien la humedad óptima.

Esto genera una base de vital importancia para concluir y determinar que alguno de los procesos descritos por Gravimet debe tener en cuenta otros factores que no se mencionan en el documento del mismo; por ejemplo, sugerir, aunque sin contar con la complejidad del caso, una hermeticidad a la hora de almacenar el café en las noches durante el proceso de secado, también ambientar los silos con una humedad baja para acelerar el proceso de secado y afianzar la pérdida de masa haciendo de este un sistema más eficiente.

Vale aclarar que para el análisis completo y detallado de este proyecto se deben tener en cuenta varios factores relevantes como las condiciones geográficas y climáticas originarias de la ciudad de Pereira, ciudad donde se llevó a cabo toda la toma de datos de las muestras.

En esta ciudad la temperatura promedio es de 21.2 °C. contando con una distribución durante el día donde a las 12:00pm la temperatura máxima media oscila entre 26 y 27 °C y en la madrugada la temperatura mínima está entre 16 y 17°C. El sol brilla cerca de 4 horas diarias en los meses lluviosos, pero en los meses secos, la insolación llega a 6 horas diarias/día. Adicional a esto la humedad relativa del aire oscila durante el año entre 73 y 79 %. [16]

Ya que el método Gravimet fue desarrollado en una ciudad con diferentes niveles de temperatura, exposición solar diaria y nivel de humedad, puede ser esta una de las causas importantes por la que no se llegó a resultados positivos para este estudio y se encuentra una discordancia con los descritos por el método Gravimet.

## Capítulo 5

### 4. Conclusiones

El proceso de secado del café cuenta con varios métodos, pero solo uno no exige el gasto adicional de energía como es el secado solar donde se utiliza netamente la radiación ultravioleta para lograr llevar el grano a una humedad específica; pero dicho método cuenta con factores adversos que tal vez por falta de inversión investigativa no se han logrado determinar. En este proyecto si bien se hizo una investigación exhaustiva para determinar la humedad del café teniendo como soporte un método que a pesar de su fácil aplicación cuenta con falencias identificadas por el mismo investigador, y además cuenta con falencias no descritas en el documento oficial de dicho proceso, falencias identificadas durante la investigación de este documento tales como la dificultad para conseguir que el café llegue a la masa especificada por el método Gravimet, ya que como se muestra en la figura 11 la masa del café llega a un valor asintótico de aproximadamente el 65% de su masa inicial mientras que según las investigaciones de cenicafé demandan llegar a un 52% para tener el nivel de humedad óptimo.

Otra falencia identificada es la complejidad para perder humedad con la simple exposición a la radiación solar por motivo de la alta vulnerabilidad debido al cambio de los factores de tiempo atmosférico, ya que mientras la muestra esta expuesta al sol la humedad del grano descende, por el contrario, en la noche, aunque el café se deje cubierto la humedad aumenta considerablemente lo cual retrasa el proceso. De esto se sugiere un implementar algún tipo de hermeticidad en el momento de almacenamiento del grano durante las noches o días húmedos.

Al analizar lo descrito se puede concluir que el secado solar no garantiza la calidad del café

Se llega a determinar que los beneficiaderos de secado deberían implementar un tipo de instrumentación higrométrica en la cual disminuya la humedad del ambiente circundante alrededor del grano, de esta manera acelerar el proceso de pérdida de humedad, de esta manera también se podría mitigar el cambio brusco en la misma debido al tiempo atmosférico o incluso durante la noche.

# Bibliografía

- [1] "La Gente del Café | Café de Colombia", Cafedecolombia.com, 2017. [Online]. Available: [http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/la\\_tierra\\_del\\_cafe/la\\_gente\\_del\\_cafe/](http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/la_tierra_del_cafe/la_gente_del_cafe/). [Accessed: 05- Jul- 2017].
- [2] C. OLIVEROS T., A. PEÑUELA M. and J. JURADO C., "Controle la humedad del café en el secado solar utilizando el método Gravimet", Biblioteca.cenicafe.org, 2017. [Online]. Available: <http://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/385>. [Accessed: 06- Jul- 2017].
- [3] OLIVEROS T., C.E.; LOPEZ V., L.; BUITRAGO, C.M.; MORENO C., "Determinación del contenido de humedad del café durante el secado en silos", Cenicafe.org, 2017. [Online]. Available: [https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras\\_publicaciones/revista\\_cenicafe/revista\\_cenicafe\\_ar\\_c061\\_02\\_108-118](https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/revista_cenicafe/revista_cenicafe_ar_c061_02_108-118) [Accessed: 04- Jul- 2017].
- [4] G. PUERTA Q., "La humedad controlada del grano preserva la calidad del café", Biblioteca.cenicafe.org, 2017. [Online]. Available: <http://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/418>. [Accessed: 10- Jul- 2017].
- [5] "ISO 6673:2003", Iso.org, 2017. [Online]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:6673:ed- 2:v1:en>. [Accessed: 08- Jul- 2017].
- [6] J. Lazcano, "Principales productores de café del mundo", Infocafe.es, 2017. [Online]. Available: <http://www.infocafe.es/cafe/principales-productores-cafe.php>. [Accessed: 11- Jul- 2017].
- [7] C. Kandala, C. Butts and S. Nelson, "Capacitance Sensor for Nondestructive Measurement of Moisture Content in Nuts and Grain", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 56, no. 5, pp. 1809-1813, 2007.
- [8] Colombia.co. (2015). Materias primas de Colombia para el mundo. [online] Available at: <http://www.colombia.co/negocia-con-colombia/materias-primas-de-colombia-para-el-mundo/> [Accessed 3 Aug. 2017].
- [9] XBee.cl - Comunicación inalámbrica para tu proyecto con tecnología Zigbee y Digimesh. (2019). ¿Qué es XBee? ~ XBee.cl - Comunicación inalámbrica para tu proyecto con tecnología Zigbee y Digimesh. [online] Available at: <https://xbee.cl/que-es-xbee/> [Accessed 14 Feb. 2019].
- [10] Marcela U. Gómez, Oscar M. Bernal, Maria P. Yoshida, Lina P. Peña, Gabriel H. Angarita federaciondecafeteros.org – Federación nacional de cafeteros (2014). Por la caficultura que queremos ~ [https://www.federaciondecafeteros.org/static/files/IGG\\_2014.pdf](https://www.federaciondecafeteros.org/static/files/IGG_2014.pdf) [Accessed 2 Mar. 2019].
- [11] scl.es, Sistemas de control de línea - Medir y controlar la humedad en la producción de café <https://scl.es/blog/medir-y-controlar-la-humedad-en-la-produccion-de-cafe/>, [Accessed 2 Mar. 2019].
- [12] Jurado c., J.M. Montoya r., E.C. Oliveros t., C.E.Garcia A. j. - [cenicafe.org](http://cenicafe.org) – Centro nacional de

investigación de café (2009). Método para medir el contenido de humedad del café pergamino en el secado solar del café.  
[https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras\\_publicaciones/revista\\_cenicafe/revista\\_cenicafe\\_ar\\_c060\\_02\\_135-147](https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/revista_cenicafe/revista_cenicafe_ar_c060_02_135-147) [Accessed 2 Mar. 2019].

[13] Oliveros T., C.E. peñuela M., A.E. Pabon U., J.P. – [cenicafe.org](http://cenicafe.org)– Centro nacional de investigación de café (2013). Gravimet SM : Tecnología para medir la humedad del café en el secado en silos. <http://hdl.handle.net/10778/501> [Accessed 2 Mar. 2019].

[14] [cafedecolombia.com](http://www.cafedecolombia.com) - Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2010). Una bonita historia. [http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/el\\_cafe\\_de\\_colombia/una\\_bonita\\_historia/](http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/el_cafe_de_colombia/una_bonita_historia/) [Accessed 2 Mar. 2019].

[15] [cafedecolombia.com](http://www.cafedecolombia.com) - Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2010). Historia del cafe. [http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre\\_el\\_cafe/el\\_cafe/el\\_cafe/](http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/el_cafe/el_cafe/) [Accessed 2 Mar. 2019].

[16] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, IDEAM. (2014). Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos - <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/1Sitios+turisticos2.pdf/cd4106e9-d608-4c29-91cc-16bee9151ddd> [Accessed 2 Mar. 2019].

[17] Publicaciones Semana S.A, (2019). ¿Colombia exporta café a los mayores consumidores del mundo? - <https://www.dinero.com/economia/articulo/colombia-exporta-cafe-mayores-consumidores-del-mundo/210780> [Accessed 10 Mar. 2019].

[18] El colombiano S.A & SIA S.C.A (2019). Exportación de café crece el 12,6% en el primer bimestre - <https://www.elcolombiano.com/negocios/exportacion-de-cafe-crece-a-febrero-DA10329479> [Accessed 10 Mar. 2019].

[19] Procolombia exportaciones turismo inversión marca país (2019). Guía practica para la exportación de café - [http://www.procolombia.co/sites/default/files/exportacion\\_de\\_cafe.pdf](http://www.procolombia.co/sites/default/files/exportacion_de_cafe.pdf) [Accessed 10 Mar. 2019].

[20] Ingeniería MCI Ltda. ¿Qué es arduino? - <https://arduino.cl/que-es-arduino/> [Accessed 10 Mar. 2019].

[21] The MathWorks, Inc. Description of function `corrcoef` - <https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/corrcoef.html> [Accessed 27 Mar. 2019].

# Anexos

## ANEXO A

Código implementado en el microcontrolador para la adquisición de datos

```
#include "DHT.h"
#define HT1PIN 2
#define HT2PIN 3
#define DHTTYPE DHT22
DHT dht1 (HT1PIN, DHTTYPE);
DHT dht2 (HT2PIN, DHTTYPE);
float corrH1, corrH2, corrT1, corrT2;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  dht1.begin();
  dht2.begin();
  Serial.println("inicio de transmisión");
  Serial.println("");
  Serial.println("Hum 1 | Hum 2 | Tem 1 | Tem 2");
  Serial.println("");
  Serial.println("");
}

void loop()
{
  float humedad1= dht1.readHumidity();
  float tem1 = dht1.readTemperature();

  float humedad2= dht2.readHumidity();
  float tem2 = dht2.readTemperature();

  if (isnan(tem1) || isnan(humedad1)|| isnan(tem2) || isnan(humedad2))
  {
    Serial.print("Algo anda mal con los sensores");
  }
  else {
    corrH1=(-0.0053*(humedad1*humedad1)+0.4067*(humedad1)-8.4);
    corrH2=(-0.0059*(humedad2*humedad2)+0.361*(humedad2)-4.22);
    corrT1=(0.0008*pow(tem1,1.9429));
    corrT2=(0.0034*pow(tem2,1.5673));

    Serial.print(humedad1+corrH1);

    Serial.print(" ");
```



```
Serial.print(humedad2+corrH2);  
  
Serial.print(" ");  
  
Serial.print(tem1+corrT1);  
  
Serial.print(" ");  
  
Serial.print(tem2+corrT2);  
  
Serial.println(" ");  
  
delay(30000);  
  
}  
}
```

## ANEXO B

Documento que lleva el nombre de Tabla de datos muestra 1.xlsx que contiene los datos de humedad y temperatura adquiridos de la muestra 1.

## ANEXO C

Documento que lleva el nombre de Tabla de datos muestra 2.xlsx que contiene los datos de humedad y temperatura adquiridos de la muestra 2.

## ANEXO D

Documento que lleva el nombre de Tabla de datos muestra 3.xlsx que contiene los datos de humedad y temperatura adquiridos de la muestra 3.

## ANEXO E

Documento que lleva el nombre de Certificados Sensores.pdf que contiene los certificados de calibración de los sensores DHT.